



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑩ **Off nlegungsschrift
DE 43 24 325 A 1**

②1 Aktenzeichen: P 43 24 325.8
②2 Anmeldetag: 20. 7. 93
④3 Offenlegungstag: 27. 1. 94

⑥1 Int. Cl.⁵:
C 04 B 41/91
C 23 F 4/00
H 01 L 31/0232
H 01 L 21/316
G 03 F 1/00
B 23 K 26/00
// H01S 3/225

DE 43 24 325 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
21.07.92 CH 2292/92 02.11.92 US 970080

⑦1 Anmelder:
Balzers AG, Balzers, LI

⑦4 Vertreter:
Moll, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Glawe, U.,
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 80538 München; Delfs, K.,
Dipl.-Ing.; Mengdehl, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Niebuhr, H., Dipl.-Phys. Dr.phil.habil., 20148
Hamburg; Merkau, B., Dipl.-Phys., Pat.-Anwälte,
80538 München

⑦2 Erfinder:
Rudigier, Helmut, Dr., Bad Ragaz, CH; Edlinger,
Johannes, Feldkirch, AT

⑤4 Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes und optisches Bauelement

⑤7 Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauelementes, welches aus einem Trägersubstrat sowie einem Schichtsystem besteht, vorgeschlagen, welches Bauelement eine in ihrer Dicke gestufte, dielektrische Schicht umfaßt. Es wird die dielektrische Schicht der Gattung MeO_x auf einer Unterlage aufgebracht, wobei Me, ein Metall der Masse von mind. 44 ist und x so gewählt wird, daß der Absorptionskoeffizient des Schichtmaterials bei Licht von 308 nm höchstens 0,01 beträgt. Die Schicht wird dabei durch reaktives Ätzen in ihrer Dicke gestuft.

DE 43 24 325 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 93 308 064/531

25/54

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft

- 5 a) ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, insbesondere eines optischen Bauelementes, nach dem Oberbegriff von Anspruch 1;

Sie betrifft weiter

- 10 b) ein optisches Bauelement nach dem Oberbegriff von Anspruch 20,
 c) ein optisches Abbildungssystem nach dem Oberbegriff von Anspruch 27,
 d) eine Vakuumbehandlungsanlage zur Herstellung eines derartigen Bauelementes nach dem Oberbegriff von Anspruch 29,
 e) ein Verfahren zur Verfolgung des Schichtabtrages bzw. Schichtauftrages nach dem Oberbegriff von
 15 Anspruch 40,
 f) eine Anlage hierfür nach dem Oberbegriff von Anspruch 41,
 g) ein Verfahren zur Feststellung des Erreichens einer Oberfläche beim reaktiven Ätzen nach dem Oberbegriff von Anspruch 42,
 h) ein optisches Bauelement nach dem Oberbegriff von Anspruch 45,
 20 i) ein Ätzprozeß-Steuerverfahren nach dem Oberbegriff von Anspruch 44 sowie
 k) eine Verwendung einer Y_2O_3 -Schicht als Ätzstopp-Schicht nach Anspruch 49.

Es wird verwiesen auf:

- EP A 0 463 319 (IBM)
 25 EP A 0 265 658 (IBM)
 WO A 9 101 514 (RAYCHEM)
 EP A 0 026 337 (IBM)
 EP A 0 049 799 (DAI NIPPON INSATSU)
 THIN SOLID FILMS, Bd. 203, Nr. 2, 30. August 1991, Lausanne CH, Seiten 227 — 250
 30 LEHAN ET AL "Optical and microstructural properties of hafnium dioxide thin films", siehe Tabelle VI.

Obwohl das erwähnte Verfahren nach a) und damit auch die erfindungsgemäße Vakuumbehandlungsanlage nach d) sich für die Herstellung einer weiten Palette von Bauelementen eignen, welche aus einem Trägersubstrat sowie mindestens einer dielektrischen Schicht bestehen, die an mindestens einer Stelle auf eine vorgebbare Dicke abzutragen ist, entspringt der Komplex der vorliegenden Erfindung im wesentlichen den Bedürfnissen der Halbleiter-Herstellungstechnologie.

35 Das Strukturieren von dielektrischen Schichten, ebenso wie von metallischen, ist nämlich in der Halbleitertechnologie ein wesentlicher Prozeßschritt. Für den Abtrag derartiger dielektrischer Schichten werden dabei verschiedene Methoden eingesetzt.

Eine erste Methode, bekannt als "lift-off-Technik", besteht darin, einen Fotolack auf das Substrat aufzubringen und mit dem gewünschten Muster zu belichten, zu entwickeln und zu reinigen. Je nachdem, ob es sich um einen Positiv- oder Negativlack handelt, bleiben die unbelichteten oder die belichteten Stellen des Lackes stehen. Auf das so behandelte Substrat wird ein Schichtsystem aufgebracht und anschließend der unter den Schichten liegende Lack mit Lösungsmitteln gelöst. Damit wird das Schichtsystem an den Bereichen des Substrates, an welchen der Lack verblieben ist, entfernt. Dabei ist wesentlich, daß das Schichtsystem den Lack vor allem an den Bereichskanten nicht gegen außen dicht abschließt, um den Lösungsmittelzutritt nicht zu verunmöglichen.

45 Eine weitere Methode besteht darin, auf das Substrat vorerst das Schichtsystem aufzubringen. Danach wird der Fotolack aufgebracht, belichtet mit dem erwünschten Muster, und entwickelt. Das Schichtsystem wird dadurch an denjenigen Stellen freigelegt, wo es teilweise oder bis hinunter auf das Substrat entfernt werden soll. Letzteres erfolgt durch Beschuß mittels Edelgas-Ionen bei typischen Energiewerten von 1000 eV und einer typischen Ionenstromdichte von ca. 1 mA/cm². Dadurch wird das Schichtmaterial weggeätzt und ebenfalls der Lack. Da die Ätzrate des Lackes im allgemeinen höher ist als diejenige des Schichtsystems, muß im allgemeinen ein dicker Lack aufgebracht werden. Dies, um zu verhindern, daß der Lack weggeätzt ist, bevor die nicht lackbedeckten Stellen auf die erwünschte Tiefe abgetragen sind.

50 Dieses Verfahren wird auch "ion milling" genannt und ist in dem Sinne nicht selektiv, als daß die Ätzraten für Schichtmaterialien gleichen Typs, wie beispielsweise von Metalloxiden, nicht wesentlich verschieden sind. Ein Vorteil dieses ion milling-Verfahrens besteht mithin darin, daß es kein materialspezifisches Verfahren ist.

Ein drittes Verfahren ist das reaktive Ätzen (RE, reactive etching). Ausgehend von einem Schichtsystem mit Maske, z. B. aus Fotolack, wie beim ion milling, wird selektiv, je nach abzutragendem Schichtmaterial, ein Gas aktiviert, in dem Sinne, daß daraus reaktive Teilchen erzeugt werden, welche das durch die Maske an bestimmten Stellen freigegebene Schichtmaterial in flüchtige Reaktionsprodukte umwandeln, welche in der Folge abgepumpt werden. Dadurch wird das Schichtsystem entfernt oder abgetragen. Durch geeignete Wahl des aktivierten Gases, im folgenden Reaktivgas genannt, kann erreicht werden, daß nur ein bestimmtes Material selektiv geätzt wird, wodurch eine hohe Selektivität erzielt wird. Dank der hohen Selektivität gegenüber dem Maskenmaterial, beispielsweise dem Fotolack, kann dieses nur dünn aufgebracht werden. Die Ätzraten, welche beim reaktiven Ätzen erzielt werden, können um Dekaden größer sein als die beim ion milling erzielten Ätzraten, womit letzterwähnte Verfahren im allgemeinen wirtschaftlich vorteilhafter sind als ion milling-Verfahren.

65 Die Aktivierung des Reaktivgases kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen, sei dies unmittelbar auf der

abzutragenden Oberfläche durch Laserstrahlbeschuß, sei dies, räumlich verteilt, durch Laserstrahleinwirkung, die Einwirkung von Mikrowellenenergie oder von Ionen- bzw. Elektronenstrahlen. Im weiteren kann die Reaktivgasaktivierung in einer Glimmentladung erfolgen, wodurch reaktive Gas-Ionen gebildet werden.

Während das reaktive Ätzen durch lokale Lasereinwirkung unter Umständen zu hoher thermischer Belastung des Schichtsystems führen kann, weisen diejenigen Verfahren, bei denen über der abzutragenden Schichtoberfläche eine homogene Dichteverteilung reaktiver Gasspezies erreicht wird, wie insbesondere mittels einer Glimmentladung, gegenüber dem ion milling-Verfahren den weiteren wesentlichen Vorteil auf, daß die Kantenprofile der abgeätzten Oberflächenbereiche besser kontrolliert werden können, in dem Sinne, als sich dabei praktisch ideale vertikale Strukturstufenschritte einstellen lassen.

Aus der US-PS 4 684 436 ist es bekannt, ein Muster mittels eines Laserablationsprozesses auf die Oberfläche eines Werkstückes aufzubringen, indem ein Laserstrahl mittels einer Maske mit örtlich unterschiedlichem Schichtsystem in seiner Intensität moduliert wird. Die Maske umfaßt ein dielektrisches Schichtsystem, woran Bereiche zum Erzielen unterschiedlicher Energietransmissionswerte durch das obgenannte ion milling-Verfahren mehr oder weniger tief weggeätzt werden bzw. selektiv eine Anzahl der vorgesehenen Schichten weggeätzt wird. Bezüglich der Schichtstapelstrukturen einer derartigen Maske, welche Strukturen sich, wie erkannt werden wird, auch nach dem erfindungsgemäßen Vorgehen realisieren lassen, wird der Offenbarungsgehalt dieser Schrift durch Bezugnahme in die vorliegende Beschreibung integriert.

Aus der US-PS-4 923 772 ist es weiter bekannt, für den Einsatz von Exzimerlasern für Laserablationsprozesse, beispielsweise auf einer Lichtwellenlänge von 248 nm arbeitend und wobei für den Ablationsprozeß Energiedichten $> 100 \text{ mJ/cm}^2$ notwendig sind, hochreflektierende dielektrische Schichten, die beständig sind in bezug auf hohe Strahlenergieflüsse (laser damage threshold), als Maskenschichtsystem einzusetzen. Die Maske wird mit einem Mehrschichtenstapel gebildet, abwechselnd mit Schichten hochbrechenden und niedrigbrechenden Materials. Als hochbrechendes Material wird vorgeschlagen, Hafniumoxid, Scandiumoxid, Aluminiumoxid oder Thalliumfluorid einzusetzen. Der Oberflächenabtrag am Maskenschichtstapel könne dabei durch ein ion milling-Verfahren, durch Glimmentladungsätzen oder reaktives Ionenätzen realisiert werden, wobei aber die Glimmentladung (Plasma) oder reaktives Ionenätzen langsamer und schwieriger sei bei dielektrischen Schichten, aufgrund der Tatsache, daß das hochbrechende Material dazu neige, nicht reaktiv zu sein. Deshalb werden gemäß dieser Schrift die vorgeschlagenen hochbrechenden Schichten durch ion milling oder durch lift off-Technik strukturiert.

Die vorliegende Erfindung setzt sich zum Ziel, ein Verfahren eingangs genannter Art zu schaffen, welches kostengünstig ist, indem eine hohe Ätzrate und hohe Selektivität gegenüber einem Maskierungsmaterial, wie z. B. Fotolack und/oder Chrom, erzielt wird und dadurch dünne Lackschichten, typischerweise von 500 nm, eingesetzt werden können, auch für hohe abzutragende Dicken der dielektrischen Schicht. Dabei soll weiter die thermische Belastung des Maskierungsmaterials, insbesondere des Fotolackes und/oder Cr, gering bleiben. Im weiteren soll eine gute Stufenprofilkontrolle möglich sein, in dem Sinne, daß im wesentlichen vertikale Stufenwände erzielbar sein sollen.

Dies wird beim Vorgehen nach dem Wortlaut von Anspruch 1 erreicht.

Entgegen den Ausführungen in der US-A-4 923 772 wurde gefunden, daß sich die erfindungsgemäß ausgenützten dielektrischen Schichten ausgezeichnet für reaktives Ätzen eignen und zudem Materialien sind, die auch im UV-Bereich hochbrechend sind. Dadurch, daß erfindungsgemäß solche dielektrischen Schichten reaktiv geätzt werden können, wird für diese Materialien ein Profilierungsverfahren mit hoher Selektivität und Ätzrate realisiert, wodurch die oben diskutierten Vorteile des reaktiven Ätzens, und insbesondere beim reaktiven Ionenätzen, die hohe Beherrschbarkeit der Stufenwinkelbildung realisiert wird.

Aus der US-PS-4 440 841 ist es zwar bekannt, Ta_2O_3 reaktiv zu ätzen, d. h. $\text{TaO}_{1,5}$, wobei aber trotz der Wahl von Tantal als Me die Wahl von x nicht die für die Anwendbarkeit für UV-Licht im Wellenlängenbereich $\lambda < 308 \text{ nm}$ notwendig kleine Absorption erzielt wird, nämlich $k_{308} \leq 0,01$ oder gar, gemäß Anspruch 2, entsprechend $k_{308} \leq 0,003$. Es soll an dieser Stelle betont sein, daß, obwohl die MeO-Schichten, die erfindungsgemäß geätzt werden, mit ihrem Verhalten im UV-Bereich spezifiziert werden, dies nicht heißt, daß sie nur im UV-Bereich einsetzbar sein sollen, z. B. aufgrund ihrer chemischen Resistenz sollen die beschriebenen und beanspruchten Schichten bzw. Schichtstapel auch in anderen Spektralbereichen, insbesondere im sichtbaren, eingesetzt werden.

Ebenso ist in "Fabrication of mosaic color filters by dry-etching dielectric stacks", B. J. Curtis et al., J. Vac. Sci. Technol. A 4(1), (1986), S. 70, ein reaktiver Ätzprozeß für $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dielektrische Schichtsysteme beschrieben. Die Masse von Ti ist kleiner als diejenige der Metalle in den Dielektrika gemäß vorliegender Erfindung, und im weiteren kann TiO_2 für UV-Anwendungen im obgenannten Spektralbereich bzw. bereits für $\lambda \leq 350 \text{ nm}$, nicht eingesetzt werden.

Dem Wortlaut von Anspruch 3 folgend, wird in einer bevorzugten Variante beim erfindungsgemäßen Verfahren die Schicht aus Ta_2O_5 oder, dem Wortlaut von Anspruch 4 folgend, HfO_2 erstellt. Im weiteren wird für viele Anwendungszwecke, wie beispielsweise für die Herstellung von Masken der in der US-PS-4 684 436 dargestellten Art, gemäß Wortlaut von Anspruch 5, ein Schichtsystem aufgebracht, bestehend aus mindestens zwei der dielektrischen Schichten, aus im UV-Bereich bei Wellenlängen $\lambda \leq 351 \text{ nm}$, insbesondere bei Wellenlängen $\lambda \leq 308 \text{ nm}$, hochbrechendem Material, mit Schichten in diesem Spektralbereich niedrigbrechenden Materials, wie beispielsweise von SiO_2 -Schichten.

Im weiteren wird bevorzugterweise, dem Wortlaut von Anspruch 6 folgend, als zu aktivierendes Gas ein Gas-Chloranteil, vorzugsweise mindestens mit CHClF_2 , eingesetzt, wobei es, gemäß Wortlaut von Anspruch 7, in gewissen Fällen weiter He und/oder CHF_3 und/oder H_2 enthält.

Gemäß Wortlaut von Anspruch 8 kann das hochbrechende Material auch mit einer Kombination der dort erwähnten Gase geätzt werden.

Wird im weiteren, gemäß Wortlaut von Anspruch 9, die mindestens eine Schicht hochbrechenden Materials, d. h. die MeO_x -Schicht, vor ihrem Abbau mit einer Schicht niedrigbrechenden Materials, insbesondere von SiO_2 , mindestens teilweise abgedeckt, so ergibt sich die höchst vorteilhafte Möglichkeit, die erwähnte hochbrechende Schicht gleichzeitig als Ätz-Stoppsschicht einzusetzen, indem die Schicht niedrigbrechenden Materials mit einem anderen Gas, im wesentlichen ohne Chloranteil, reaktiv geätzt wird, so daß die MeO_x -Schicht nicht geätzt wird oder nur in einem verschwindenden Ausmaße.

Obwohl die Aktivierung des Reaktivgases nach dem Wortlaut von Anspruch 12 bzw. 13 generell mittels geladener Partikel, wie mittels Elektronen und/oder Ionen, wie beispielsweise aus einer Kaufman-Quelle, und/oder photonen- bzw. laserunterstützt, erfolgen kann, wird bevorzugterweise, nach dem Wortlaut von Anspruch 14, die Aktivierung des Gases in einer Glimmentladung in einer Vakuumkammer vorgenommen.

Im weiteren wird bevorzugterweise der Gaseinlaß gekühlt, womit, zusätzlich zur Kühlung der Trägerfläche für das hergestellte Bauelement, erreicht wird, daß ein Maskierungsmaterial, z. B. ein Lack, nicht unzulässig erwärmt wird, was nachträglich eine bessere Ablösung der Maskenschicht von den nicht abgetragenen Oberflächenbereichen der dielektrischen Schicht ermöglicht.

Um den Ätzprozeß im richtigen Zeitpunkt abubrechen, sei dies, wenn das Schichtsystem mit der mindestens einen dielektrischen Schicht bis auf das Substrat abgetragen ist, oder sei dies, wenn an einem Mehrschichtsystem die Abtragung bis zu einer vorgegebenen verbleibenden Schichtsystemdicke erfolgt ist, können alle bekannten Verfahren eingesetzt werden, insbesondere können ein oder mehrere Ätz-Stopp-Schichten direkt auf dem Substrat oder zwischen den Schichten des Mehrschichtsystems eingebaut werden, beispielsweise aus Al_2O_3 , wie aber erfindungsgemäß erkannt wurde, insbesondere eine Y_2O_3 -Schicht, die wesentlich weniger geätzt wird als eine Al_2O_2 -Schicht.

In diesem Zusammenhang wurde erkannt, gemäß Wortlaut der Ansprüche 16, 17, 18, daß mit der Verwendung einer Oberfläche eines mit Erdalkali-Ionen dotierten oder versehenen Materials ein markantes, orangefarbenes Leuchten beim Erreichen dieser Oberfläche durch das reaktive Ionenätzen mittels der Glimmentladung entsteht, was höchst einfach als Abschaltkriterium für den Ätzprozeß ausgenützt werden kann. Ein gemäß Anspruch 18 so eingesetztes Glas weist weiter gegenüber den Schichtmaterialien eine deutlich niedrigere Ätzrate auf und wirkt somit automatisch als sog. Ätz-Stopp-Schicht. Dadurch wird ein unzulässig tiefes Hineinätzen in das Glassubstrat verhindert.

Im weiteren können für die Überwachung des Ätzprozeß-Fortschreitens auch die bekannten Reflexionsverfahren eingesetzt werden, wozu auf die diesbezüglichen Ausführungen in der US-PS-4 923 772 verwiesen sei, welche diesbezüglich als integrierter Bestandteil der vorliegenden Beschreibung erklärt wird.

Gemäß Wortlaut von Anspruch 19 wird erfindungsgemäß weiter vorgeschlagen, mindestens einen Lichtstrahl von der nicht dem Abtrag ausgesetzten Seite des Bauelementes durch das Substrat gegen die Schicht zu richten und aus Änderungen des reflektierten Strahls auf die verbleibende Schichtdicke zu schließen. Dies hat den wesentlichen Vorteil, daß die homogene Gaseindüsung behandlungsseitig des Bauteiles nicht für das Eindringen des Lichtstrahls und Auskoppeln des reflektierten Strahls beeinträchtigt werden muß und daß zudem Licht-Ein- und -Auskopplungsöffnungen, gegebenenfalls mit Lichtleitern, dem Abtragprozeß nicht ausgesetzt sind, indem sie durch das Bauteil selbst geschützt bleiben.

Ein erfindungsgemäßes optisches Bauelement zeichnet sich im weiteren nach dem Wortlaut des kennzeichnenden Teils von Anspruch 20 aus.

Die mindestens eine Schicht am Bauelement absorbiert im UV-Bereich $\lambda \leq 308 \text{ nm}$ praktisch keine Lichtenergie, womit sich dieses Bauelement ausgezeichnet für den Einsatz mit UV-Lasern eignet. Im weiteren kann die Dickenstufung ideal senkrecht zu den jeweiligen Schichtflächen sein, was durch den Einsatz des reaktiven Ionenätzverfahrens realisierbar ist.

Im weiteren wird ein optisches Abbildungssystem nach dem Wortlaut von Anspruch 27 vorgeschlagen.

Dem Wortlaut von Anspruch 28 folgend, wird dabei als Laserquelle eine Quelle mit einer Strahlenergiedichte von über 100 mJ/cm^2 eingesetzt, vorzugsweise von über 200 mJ/cm^2 , dabei vorzugsweise gar von über 300 mJ/cm^2 . Dies wird aufgrund des eingesetzten Schichtmaterials MeO_x möglich, wobei aufgrund der durch das erfindungsgemäß eingesetzte reaktive Ionenätzen erzielten präzisen Dickenstufung das optische Abbildungssystem höchst präzise die Energie des Laserstrahls örtlich moduliert.

Eine Vakuumbehandlungsanlage zur Herstellung des obgenannten Bauelementes bzw. zur Ausführung mindestens des Ätzschrittes obgenannten Herstellungsverfahrens zeichnet sich nach dem Wortlaut von Anspruch 29 aus.

Bevorzugte Ausführungsvarianten dieser Anlage sind in den Ansprüchen 30 bis 39 spezifiziert.

Ein Verfahren zum Verfolgen des Schichtabtrages oder -auftrages an mindestens in einem gegebenen Spektralbereich transmittierenden Bauelement zeichnet sich nach dem Wortlaut von Anspruch 40 aus, eine entsprechende Anlage nach demjenigen von Anspruch 41, wonach die erwähnte Verfolgung durch eine Reflexionsmessung erfolgt, die an der dem Aufbau- oder Abtragprozeß abgewandten Bauelementseite vorgenommen wird.

Anspruch 42 spezifiziert ein Verfahren zur Feststellung des Erreichens des Substrates durch reaktives Ionenätzen, bei dem die sich ändernde Glimmentladungs-Lichtemission bei Ätzen einer Oberfläche, die mit Erdalkali-Ionen dotiert ist, ausgenützt wird.

Insbesondere wird dabei gemäß Wortlaut von Anspruch 43 vorgeschlagen, auszunützen, daß ein Substrat, bestehend aus einem Glas mit Erdalkali-Ionen, eine derartige Oberfläche bildet und mithin durch die erwähnte Lichtemissionsdetektion rasch ermittelt werden kann, wann der Ätzprozeß lokal das Substrat erreicht.

Gemäß Wortlaut des kennzeichnenden Teils von Anspruch 44 wird weiter ausgenützt, daß hochbrechende Schichten, wie insbesondere die erwähnten MeO_x -Schichten, mittels des einen Gases, insbesondere mit Chloranteil, reaktiv geätzt werden. Niedrigbrechende Schichten werden hingegen durch andere Gase, wie insbesondere fluorhaltige Gase, geätzt, bei denen die hochbrechenden in nur stark verringertem Maße geätzt werden. Damit

wird ermöglicht, gemäß dem besagten kennzeichnenden Teil, eine niedrigbrechende Schicht mit dem erwähnten Gas zu ätzen, dies bis zum Erreichen der hochbrechenden Schicht, und schließlich weiter bis zum vollständigen, homogenen Abtrag der niedrigbrechenden Schicht im erwünschten Bereich, weil für das eine eingesetzte Gas, vorzugsweise im wesentlichen ohne Chloranteil, wie sich heute abzuzeichnen beginnt, die hochbrechende Schicht als Ätz-Stopp-Schicht wirkt. Erstaunlich ist aber, daß die hochbrechenden Schichten, und dies sei betont, auch mit gewissen fluorhaltigen Gasen, insbesondere CHF_3 , ätzbar sind, mit durchaus vernünftigen Ätzraten. Danach kann gegebenenfalls mit Zuführung eines weiteren Gases, vorzugsweise mit Chloranteil, das Weiterätzen der hochbrechenden Schicht in Angriff genommen werden. Ausnützen der erwähnten Selektivität ermöglicht einen großflächig vollständigen Abtrag der niedrigbrechenden Schicht, auf der hochbrechenden aufliegend.

Gemäß Wortlaut von Anspruch 45 umfaßt ein weiteres erfindungsgemäßes, optisches Bauelement eine Lage, die mit Erdalkali-Ionen dotiert ist, womit bei dessen Herstellung ermöglicht wurde, an der Glimmentladungs-Lichtemission zu detektieren, wann die erwähnte Lage durch den Ätzprozeß erreicht wurde.

Gemäß Wortlaut von Anspruch 46 wird die erwähnte Lage durch ein Substratglas mit Erdalkali-Ionen gebildet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 schematisch ein erfindungsgemäß zu bearbeitendes Schichtsystem mit Ätzmaske und Ätz-Stopp-Schicht am Substrat;

Fig. 2 ein Schichtsystem, analog zu demjenigen von **Fig. 1**, mit eingebetteter Ätz-Stopp-Schicht, beispielsweise um das Schichtsystem auf unterschiedliche Tiefen gestaffelt zu ätzen;

Fig. 3 schematisch ein erfindungsgemäßes optisches Bauelement, tiefengestaffelt geätzt, mit verbleibenden, noch zu entfernenden Ätzmaskenpartien;

Fig. 4 schematisch ein erfindungsgemäßes optisches Abbildungssystem;

Fig. 5 schematisch ein erfindungsgemäß hergestelltes Schichtsystem, bei welchem eine der MeO_x -Schichten selbst als Ätz-Stopp-Schicht eingesetzt wird;

Fig. 6 schematisch eine erfindungsgemäße Vakuumbehandlungsanlage;

Fig. 7a ein an der Anlage gemäß **Fig. 6** bevorzugterweise eingesetztes, an sich erfindungsgemäßes Ätztiefen- bzw. Schichtdicken-Detektionssystem, schematisch dargestellt, und

Fig. 7b das System gemäß **Fig. 7a**, bei welchem gesendeter und reflektierter Lichtstrahl in der Werkstückträger-Elektrode durch den gleichen Lichtleitkanal geführt werden.

In **Fig. 1** ist auf einem Substrat 1 ein Schichtsystem 3 dargestellt. Das Schichtsystem 3 umfaßt mindestens eine hochbrechende dielektrische Schicht 3H, ist aber für die meisten Anwendungsfälle als Schichtstapel aufgebaut, mit mindestens auch einer niedrigbrechenden Schicht 3L. Die Minimalkonfiguration ist Substrat 1 und eine hochbrechende Schicht 3H.

Erfindungsgemäß ist die hochbrechende Schicht 3H aus einer dielektrischen Verbindung MeO_x aufgebaut, wobei

- Me ein Metall mindestens der Masse 44 ist,
- x so gewählt wird, daß der Absorptionskoeffizient des Schichtmaterials bei Licht von $\lambda = 308 \text{ nm}$ zu

$$k_{308} \leq 0,01,$$

bevorzugterweise gar zu

$$k_{308} \leq 0,003$$

wird.

Dadurch wird die Schicht 3H auch für UV-Licht einsetzbar, wobei der kleine Absorptionskoeffizient sicherstellt, daß auch bei UV-Wellenlängen $\leq 308 \text{ nm}$ hohe Leistungen transmittiert werden können, ohne daß die Zerstörungsschwelle des dielektrischen Materials erreicht wird.

Als niedrigbrechende Schicht 3L wird vorzugsweise eine SiO_2 -Schicht eingesetzt.

Bei 7 ist eine in bekannter Art und Weise gebildete Ätzmaske dargestellt, auf der obersten Schicht 3H oder 3L aufliegend, die z. B. eine Fotolackschicht 7a und/oder eine Metallschicht 7b aus Cr, Al oder auch aus Fe_2O_3 umfassen kann. Die Maske 7 wurde auf bekannte Art und Weise, Entwickeln des Fotolackes, Ätzen der Metallschicht oder dergleichen, gebildet.

Bei 11 ist weiter gestrichelt eine Ätz-Stopp-Schicht eingetragen, insbesondere aus Y_2O_3 , welche beim noch zu beschreibenden Ätzen der freigesetzten Bereiche 3a verhindern soll, daß das Substrat 1 angeätzt wird. Dies aufgrund der selektiven Wirkung des Reaktivätzens, bei welchem an der Struktur gemäß **Fig. 1** nur die das Schichtsystem 3 bildenden Schichtmaterialien geätzt werden. Eine Ätz-Stopp-Schicht analog der Schicht 11 kann überall dort im Schichtsystem eingebaut werden, wo der Ätzvorgang ab- oder unterbrochen werden soll.

In weitaus bevorzugter Weise wird als hochbrechendes Schichtmaterial der Schichten 3H Ta_2O_5 oder HfO_2 eingesetzt. Diese Schichtmaterialien eignen sich ausgezeichnet für den erwähnten Einsatz im UV-Lichtbereich, lassen sich aber selbstverständlich auch bei längerwelligem Licht einsetzen.

Soll der dielektrische Schichtstapel 3 nicht bis auf das Substrat 1 durch den reaktiven Ätzprozeß abgetragen werden, so wird, wie in **Fig. 2** dargestellt ist, zwischen einem oberen Teil des Schichtsystems 3o und einem unteren, 3u, eine etch-Stoppschicht 11, wie insbesondere aus Y_2O_3 , eingeführt. Entsprechend werden dann, wenn

der dielektrische Schichtstapel auf unterschiedliche Niveaus abgetragen werden soll, mehrere Ätz-Stopp-Schichten 11 eingelegt und, wie bekannt, nach Erreichen der ersten Ätz-Stopp-Schicht, durch Wiederauftrag einer Ätzmaske, wie aus Fotolack und deren Entwicklung, an der Ätz-Stopp-Schicht von der neuerlich aufgetragenen Maskenschicht freigelassene Bereiche gebildet, sei dies durch entsprechendes Ätzen oder mittels einer Naßtechnik, worauf dann der darunterliegende dielektrische Schichtstapel 3 weitergeätzt wird, bis gegebenenfalls zum Erreichen einer weiteren Ätz-Stopp-Schicht etc.

Gegebenenfalls kann die in Fig. 1 bzw. 2 eingetragene Metallschicht 7b entfallen und die Maskierung lediglich mittels der Fotolackschicht 7a vorgenommen werden. Weiter kann auch nach Entwickeln der Lackschicht 7a, Wegätzen der Metallschicht 7b, z. B. aus Cr, die verbleibende Lackschicht entfernt werden und nur die verbleibende Metallschicht als Ätzmaske verwendet werden.

In Fig. 3 ist beispielsweise ein erfindungsgemäßes optisches Bauelement dargestellt, an welchem das dielektrische Schichtsystem 3 auf zwei Niveaus lokal abgetragen wurde, wobei der Fotolack 7₁ bis 7₃ sowie die Ätz-Stopp-Schichten 11₁ und 11₂ als letztes noch zu entfernen sind. Ein erfindungsgemäßes optisches Bauelement umfaßt in seiner Minimalstruktur einen Träger 1 sowie eine Schicht 3H gemäß Fig. 1 und kann mit weiteren Schichten beliebig und auf bekannte Art und Weise weitergebildet sein.

Aufgrund der geringen Absorption des erfindungsgemäß eingesetzten, hochbrechenden Materials, insbesondere aus Ta₂O₅ oder HfO₂, werden optische Bauelemente realisierbar mit hochpräzisen Strukturierungskanten, die sich ausgezeichnet eignen, zusammen mit UV-Lasern, Exzimer-Lasern hoher Energie, eingesetzt zu werden, wie beispielsweise für die Laserablationstechnik bei der Materialbearbeitung, insbesondere bei der Halbleiterproduktion. Dabei werden Leistungsdichten einsetzbar über 100 mJ/cm², bevorzugterweise über 200 mJ/cm² oder gar über 300 mJ/cm².

Ein erfindungsgemäßes optisches Abbildungssystem ist in Fig. 4 schematisch dargestellt und umfaßt einen Exzimer-Laser 15, in dessen Strahlengang ein erfindungsgemäßes optisches Bauelement 17 als Maske eingesetzt ist, derart, daß ein durch Laserablation zu strukturierendes Werkstück 19 aufgrund der maskenbedingten, lokal unterschiedlichen Laserenergietransmission, wie schematisch dargestellt, strukturiert wird.

In Fig. 5 ist ein Schichtsystem dargestellt, mit einer Ätzmaske 7, darunter einer Schicht 3L niedrigbrechenden Materials und einer weiteren Schicht 3H hochbrechenden Materials. Die letzterwähnte besteht aus dem spezifizierten Material MeO_x. Die Schicht niedrigbrechenden Materials ihrerseits besteht vorzugsweise aus SiO₂. Am schematisch dargestellten Ätzprofil (a) ist das Ätzen der Schicht 3L entsprechend der Maske 7 dargestellt. Dieses reaktive Ätzen erfolgt mit einem Reaktivgas G, das, wie sich heute abzeichnet, vorzugsweise mindestens im wesentlichen kein Chlor enthält, sondern bevorzugterweise Fluor. Mittels des einen Reaktivgases kann die Schicht 3H nicht oder nur unwesentlich geätzt werden, womit diese Schicht als Ätz-Stopp-Schicht für den Ätzprozeß der Schicht 3L wirkt.

Im Falle eines reaktiven Ätzprozesses wird trotz Erreichens der Oberfläche der Schicht 3H mit dem vorzugsweise fluorhaltigen Reaktivgas weitergeätzt, bis die Schicht 3L entsprechend der Maske 7 von der Oberfläche der Schicht 3H völlig weggeätzt ist. Nun kann der Bearbeitungsvorgang abgeschlossen sein, wenn nämlich nicht beabsichtigt ist, die Schicht 3H ebenfalls zu ätzen, oder es wird das Reaktivgas geändert, indem nun ein anderes, vorzugsweise chlorhaltiges Gas eingesetzt wird, wie mit G(Cl) schematisch angedeutet. Möglicherweise können auch die Prozeßparameter geändert werden.

In Fig. 6 ist schematisch eine erfindungsgemäße Vakuumbehandlungsanlage dargestellt, ausgelegt zur Durchführung des im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführenden Ätzprozesses. Wie erwähnt wurde, kann die Strukturierung im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens grundsätzlich mit verschiedenen Reaktivätzprozessen durchgeführt werden. Bevorzugterweise wird aber reaktives Ionenätzen mit Hilfe einer Glimmentladung eingesetzt. Hierzu weist die Anlage gemäß Fig. 6 in einem Vakuumrezipienten 20 eine über ein Leitungssystem 22 wassergekühlte Werkstückträger-Elektrode 24 auf. Die Werkstückträger-Elektrode 24 für das Werkstück 25 ist bezüglich der Wandung des Rezipienten 20, wie schematisch bei 26 dargestellt, elektrisch isoliert montiert. Zentrisch unter der Werkstückträger-Elektrode 24 ist der mit einer Turbomolekularpumpe 28 verbundene Saugstutzen 30 angeordnet, dessen Pumpquerschnitt mittels einer Irisblende 32 und über eine Verstelleinheit 34 hierfür verstellt werden kann.

Der Werkstückträger-Elektrode 24 gegenüberliegend ist eine über ein Leitungssystem 36 vorzugsweise wassergekühlte Gegenelektrode 37 vorgesehen. An ihrer dem Werkstück 26 gegenüberliegenden Fläche sind, regelmäßig verteilt, Gasauslaßöffnungen 40 vorgesehen, welche mit einem Gasverteilsystem 38 und einer Gaszuführleitung 42 kommunizieren. Letztere ist über Durchfluß-Regelorgane 44 mit ein oder mehreren Gasvorräten 46 verbunden. Mit den Stellgliedern 44 wird die jeweilige Durchflußmenge bzw. die Reaktivgas-Zusammensetzung gestellt bzw. geregelt. Aus Gründen der Sauberkeit ist es durchaus möglich, die Anlagekonfiguration vertikal oder mit Werkstückträger-Elektrode obenliegend auszubilden.

Wie erwähnt wurde, wird oder werden die hochbrechenden Schichten des Schichtstapels gemäß den Fig. 1 bis 3 bevorzugterweise mit einem chlorhaltigen Gas als Reaktivgas geätzt. Damit umfassen die Vorräte 46, wie mit dem Vorrat 46a dargestellt, ein chlorhaltiges Gas, bevorzugterweise CHClF₂, gegebenenfalls zusätzlich He bzw. CHF₃ bzw. H₂. Dieser Vorrat 46a kann im weiteren eine Kombination aus den Gasen Cl₂, H₂, F₂ oder CF₄ umfassen, welches Kombinationsgas auch aus mehreren Gasvorräten gemischt der Behandlungskammer zugeführt werden kann. Die niedrigbrechenden Schichten, insbesondere aus SiO₂, am Schichtstapel gemäß den Fig. 1 bis 3 sind auch mittels eines Reaktivgases ätzbar, das im wesentlichen kein Chlor enthält, sondern beispielsweise und vorzugsweise fluorhaltig ist.

Mithin wird mit einem zweiten Gasvorrat 46b gemäß Fig. 6 bevorzugterweise das letzterwähnte, nicht chlorhaltige, sondern fluorhaltige Gas bereitgestellt. Damit kann, wie noch erläutert werden wird und gemäß Fig. 5, jeweils eine Schicht niedrigbrechenden Materials mit dem fluorhaltigen Gas aus dem Vorrat 46b geätzt werden, nach deren Abätzen, bis auf die nächstuntere, hochbrechende Schicht, letztere dann durch Zuführen

eines anderen, vorzugsweise eines chlorhaltigen Gases in den Prozeßraum P geätzt werden.

Am dargestellten Beispiel wird die Werkstückträger-Elektrode 24 mittels eines Hf-Generators 48 über ein Entkopplungsnetzwerk 50 gespiesen, bezogen auf Masse, worauf beispielsweise auch der Rezipient 20 geschaltet ist. Zur bias-Legung der Werkstückträger-Elektrode kann dem Hf-Signal durch eine Gleichspannungsquelle 52, wiederum über ein Entkopplungsnetzwerk 54, zusätzlich ein einstellbarer DC-Wert zugespiesen werden.

Selbstverständlich kann die elektrische Beschaltung in bekannter Art und Weise auch anders vorgenommen werden, indem das Wechselsignal zwischen Werkstückträger-Elektrode 24 und Elektrode 37 geschaltet wird und der Rezipient 20 von den Elektrodenpotentialen unabhängig schwebend oder auf ein Bezugspotential gelegt wird. Unabhängig davon kann die Werkstückträger-Elektrode weiterhin auf DC-bias gelegt sein.

Wie erläutert worden ist, ist es beim erfindungsgemäß eingesetzten reaktiven Ätzprozeß wesentlich zu detektieren, wann der Abtrag des auf dem Substrat 1 gemäß den Fig. 1 bis 3 aufgetragenen Schichtstapels ein vorgegebenes Maß erreicht hat. Hierzu ist, wie in Fig. 6 schematisch dargestellt, eine Detektoreinheit 56 vorgesehen, die in einer der noch zu beschreibenden Arten das Erreichen einer vorgegebenen Abtragtiefe detektiert und über eine Auswerteeinheit 58 steuernd auf den Ätzprozeß eingreift, sei dies, wie dargestellt, auf den Hf-Generator 48 und/oder auf die Durchfluß-Stellglieder 44 für das Reaktivgas bzw. die Reaktivgase.

Insbesondere ist es damit möglich, nach dem Ätzen der niedrigbrechenden Schichten mit dem einen Gas, vorzugsweise mit nicht chlor-, sondern bevorzugterweise fluorhaltigem Gas aus dem Vorrat 46b das Reaktivgas zu ändern, vorzugsweise durch Zuführen mindestens eines Chloranteiles bzw. des erwähnten chlorhaltigen Gases und, wie mit Fig. 5 erläutert wurde, die hochbrechende Schicht aus MeO_x zu ätzen. Generell geben die heutigen Resultate dazu Anlaß zu vermuten, daß mit einiger Wahrscheinlichkeit die erwähnte Selektivität durch geeignete Wahl des Cl_2/F -Gehaltes sowie gegebenenfalls weiterer Gasanteile erreicht wird.

Werden, wie anhand der Fig. 1 bis 3 beschrieben wurde, Ätz-Stopp-Schichten 11 im erfindungsgemäß reaktiv ionengeätzten Schichtstapel vorgesehen, so detektiert die Detektoreinheit 56 beispielsweise eine sich dabei ändernde Prozeßstrahlung. In diesem Zusammenhang wurde gefunden, daß, wenn als Substratmaterial ein Glas mit Erdalkali-Ionen eingesetzt wird, sich dann, wenn der Ätzprozeß das Substrat erreicht, Licht mit einem hierfür signifikanten Spektralanteil erzeugt wird, nämlich oranges Licht, so daß bei Verwendung eines solchen Substrates letzteres gleichzeitig als Ätz-Stopp-Schicht, deren Erreichen leicht detektierbar ist, eingesetzt werden kann.

Generell können nun weiter am Schichtsystem Schichtoberflächen vorgesehen werden, welche Erdalkali-Ionen-dotiert sind, um in der erwähnten Art und Weise, anhand des sich bei Erreichen dieser Oberfläche durch den Ätzprozeß signifikant ändernden Glimmentladungs-Lichtspektrums, zu detektieren, wann diese Oberfläche erreicht ist. Die Dotierung der erwähnten Oberfläche mit Erdalkali-Ionen erfolgt selbstverständlich in Abhängigkeit davon, ob eine solche Dotierung für den späteren Einsatz des erfindungsgemäß hergestellten Bauelementes toleriert werden kann oder nicht. So kann eine Erdalkali-Ionen-Dotierung, sei dies des Substrates, wie des Substratglases, oder einer Stapelschicht, insbesondere einer niedrigbrechenden, wie einer SiO_2 -Schicht, dazu führen, daß das fertiggestellte optische Bauelement nicht mehr optimal UV-tauglich ist. Da aber, wie bereits erwähnt wurde, die optischen Bauelemente mit der erfindungsgemäß bearbeiteten MeO_x -Schicht keinesfalls nur für den UV-Einsatz geeignet sind, sondern durchaus auch im sichtbaren Lichtbereich vorteilhaft eingesetzt werden können, ist die erwähnte Dotierung in vielen Fällen unbedenklich.

Es sei daran erinnert, daß die erwähnten MeO_x -Materialien, wie insbesondere HfO_2 , chemisch außerordentlich stabil sind und, beispielsweise durch Ionenplattieren hergestellt, einen äußerst niedrigen Streulichtanteil aufweisen, so daß sich der Einsatz dieser Schichten auch bei optischen Bauelementen oft aufdrängt, die im sichtbaren Lichtbereich eingesetzt werden sollen.

Bei der Verwendung eines Substratmaterials aus Glas mit Erdalkali-Ionen, z. B. Natrium-Ionen, hat sich weiter ergeben, daß die Ätzrate dieses Substrates wesentlich geringer ist als diejenige der erfindungsgemäß eingesetzten dielektrischen Schichten MeO_x bzw. der bevorzugterweise eingesetzten niedrigbrechenden Schichten, wie aus SiO_2 , so daß zusätzlich bei Einsatz eines solchen Substratmaterials gewährleistet ist, daß die Substratoberfläche, vor Unterbrechung des Ätzprozesses bei Detektion des kennzeichnenden Glimmentladungs-Lichtspektralanteils, nur wenig angeätzt wird.

Zur Überwachung des Ätzprozesses bezüglich der verbleibenden Schicht bzw. Schichtstapeldicke können auch andere bekannte Verfahren eingesetzt werden, wie beispielsweise bekannte Reflexionsmessungen eines Laserstrahls, der beispielsweise durch die Elektrode 37 auf das geätzte Bauelement geführt wird und dessen Reflexion ausgewertet wird.

Im weiteren können auch Methoden, wie Plasmaemissions-Spektroskopie oder Massenspektroskopie der abgepumpten Gase zur Prozeßsteuerung herangezogen werden.

Ein bevorzugtes Verfahren zur Prozeßführung ist schematisch und, ausgehend von der Darstellung von Fig. 6, in den Fig. 7a und 7b dargestellt. Dieses Verfahren bzw. eine entsprechend aufgebaute Vakuumbehandlungsanlage werden für sich und losgelöst vom Komplex der Strukturätzung dielektrischer Schichten als erfinderisch betrachtet. Dabei wird, bezogen auf Fig. 6, durch die Werkstückträger-Elektrode 24 hindurch der Strahl 60 einer Lichtquelle, vorzugsweise einer Laserlichtquelle 62, durchgeleitet und auf das im Spektralbereich des Lichtstrahls 60 transmittierende Bauelement 64 gerichtet, dessen Oberfläche dem Abtragprozeß unterworfen ist oder generell bearbeitet, also z. B. auch beschichtet wird. Der vom Bauelement 64 reflektierte Strahl 66 oder die durch die mehreren Schichten reflektierten Strahlen 66 werden, beispielsweise über Lichtleiter, einer Auswerteeinheit 68 zugeführt. Änderungen der Strahlreflexion am Bauelement 64 werden als Maß dafür ausgewertet, welche Schichten bis dahin durch den Ätzprozeß abgetragen worden sind oder welche Schichtdicken aufgebracht worden sind, z. B. mittels eines plasmaunterstützten CVD-Prozesses.

Wie in Fig. 7b dargestellt, kann diese Technik auch so ausgeführt werden, daß, mittels eines semi-permeablen Spiegelementes 70, der Strahl senkrecht gegen das Bauelement 64 gerichtet wird und über den semipermeablen Spiegel 70 der reflektierte Strahl 66 der Auswerteeinheit 68 zugeführt wird, welche auf die Reaktivgas-Stell-

gliedert und/oder den Hf-Generator 48 gemäß Fig. 6 wirkt, im Rahmen des erfindungsgemäßen Ätzprozesses. Dabei muß betont werden, daß je nach Ätzprozeß bei Erreichen einer vorgegebenen Ätztiefe, bei welcher auf ein geändertes Schichtmaterial gestoßen wird, dies nach Detektion an der Einheit 68 auch lediglich zu einer Änderung des Reaktivgasgemisches ausgenützt werden kann, wie erwähnt wurde und sich heute mit einiger Wahrscheinlichkeit abzeichnet, durch Wechsel von chlorhaltigem auf fluorhaltiges Gas und umgekehrt bzw. durch Wechsel zwischen anderen Gasen.

Es werden nachfolgend Beispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie erfindungsgemäßer Bauelemente dargestellt.

Dabei bedeuten:

- L: Schicht niedrigbrechenden Materials,
- H: Schicht hochbrechenden Materials,
- optische Dicke = (Brechungsindex) • (physikalische Dicke x),
- x: physikalische Dicke.

Der Durchmesser der Werkstückträger-Elektrode 24 gemäß Fig. 5 beträgt 25 cm, der Abstand d zwischen Werkstückträger-Elektrode und Gegenelektrode 37 ist jeweils unter den Ätzparametern angegeben.

DE 43 24 325 A1

Beispiel 1

Ta₂O₅/SiO₂ Stack-(Stapel)-Spiegel, zentriert für 308 nm:

<u>Abfolge</u>	<u>Material</u>	<u>physikalische Dicke x</u>
----------------	-----------------	------------------------------

Substrat

L ₁	SiO ₂	106nm
----------------	------------------	-------

H ₁	Ta ₂ O ₅	30nm
----------------	--------------------------------	------

L ₁	SiO ₂	91nm
----------------	------------------	------

L ₂	SiO ₂	30nm
----------------	------------------	------

H ₂	Ta ₂ O ₅	30nm
----------------	--------------------------------	------

-------	--	--

L	SiO ₂	53nm
---	------------------	------

H	Ta ₂ O ₅	33nm
---	--------------------------------	------

-------	--	--

L ₃	SiO ₂	106nm
----------------	------------------	-------

-------	--	--

L ₃	SiO ₂	106nm
----------------	------------------	-------

-------	--	--

Struktur: L ₁ H ₁ L ₂ H ₂ (LH) ₄ L ₃		
--	--	--

Gesamtdicke, physikalisch: 707nm		
----------------------------------	--	--

-------	--	--

Aetzparameter:

Reaktivgas:	CHClF ₂ , He
-------------	-------------------------

Gasfluss:	CHClF ₂ : 50sccm
-----------	-----------------------------

	He : 50sccm
--	-------------

Gasdruck:	p = 1,8 x 10 ⁻³ mbar
-----------	---------------------------------

Rf-Leistung:	300W
--------------	------

Frequenz:	13.56MHz
-----------	----------

Elektrodenabstand:	d = 5cm
--------------------	---------

Aetzzeit bis Substrat:	τ = 657sec
------------------------	------------

gemittelte Aetzrate:	1,08nm/sec
----------------------	------------

DC-Bias:	0V
----------	----

Bemerkung:	inkl. Aetzen der Cr-Maske
------------	---------------------------

DE 43 24 325 A1

Beispiel 2

HfO₂/SiO₂ Stack-(Stapel)-Spiegel, zentriert für 248 nm:

5

Abfolge

Material

physikalische Dicke x

10

Substrat

L₁

SiO₂

83nm

H₁

HfO₂

29nm

L

SiO₂

42nm

H

HfO₂

29nm

7 x

25

Luft

Struktur:

L₁ H₁ (LH)⁷

Gesamtdicke, physikalisch:

609nm

Ätzparameter:

Reaktivgas:

CHClF₂

Gasfluss:

50sccm

Gasdruck:

p = 7 x 10⁻³ mbar

Rf-Leistung:

300W (13,56MHz)

Elektrodenabstand:

d = 5cm

Ätzzeit:

τ = 1098sec

Ätzrate:

0,555nm/sec

DC-Bias:

0V

mit 1µm AZ 1350 Fotolackmaske

Beispiel 3

Einzelsschicht Ta₂O₅

55	<u>Ätzparameter:</u>	
60	Reaktivgas:	CHClF ₂
	Gasfluß:	50 sccm
	Gasdruck:	p = 1,2 x 10 ⁻² mbar
65	Rf-Leistung:	500 W (13,56 MHz)
	DC-Bias:	0 V
	Elektrodenabstand:	d = 5 cm
	Ätzrate:	0,95 nm/sec

Beispiel 4

Einzelschicht HfO₂

Ätzparameter:

Reaktivgas:	CHClF ₂
Gasfluß:	50 sccm
Gasdruck:	$1,1 \times 10^{-2}$ mbar
Rf-Leistung:	300 W (13,56 MHz)
DC-Bias:	0 V
Elektrodenabstand:	d = 5 cm
Ätzrate:	0,39 nm/sec

Beispiel 5

Einzelschicht Y₂O₃ (als Ätz-Stopp-Schicht!)

Ätzparameter:

Reaktivgas:	CHClF ₂ , He
Gasflüsse:	CHClF ₂ : 50 sccm; He: 69 sccm
Druck:	$1,2 \cdot 10^{-2}$ mbar
Rf-Leistung:	300 W (13,56 MHz)
DC-Bias:	-80 V
Elektrodenabstand:	d = 5 cm
Ätzrate:	0,06 nm/sec

Beispiel 6

Einzelschicht, als niedrigbrechende in Stapel: Al₂O₃

Ätzparameter:

Reaktivgas:	CHClF ₂ , He
Gasflüsse:	CHClF ₂ : 50 sccm; He: 69 sccm
Druck:	$1,2 \cdot 10^{-2}$ mbar
Rf-Leistung:	500 W (13,56 MHz)
DC-Bias:	-97 V
Elektrodenabstand:	d = 5 cm
Ätzrate:	0,41 nm/sec

Es muß betont werden, daß anstelle des bevorzugten reaktiven Ionenätzens mittels Glimmentladung sich prinzipiell auch andere reaktive Ätzverfahren, wie beispielsweise "chemically assisted ion beam etching", eignen. Dabei werden Argon-Ionen aus einer Kaufman-Ionenquelle auf das strukturzuätzende Bauelement geschossen, welches gleichzeitig vorzugsweise mit CHClF₂ besprüht wird.

Im weiteren können mit der gleichen Anordnung gemäß Fig. 6, wie bereits erwähnt wurde; die L-Schichten insbesondere aus SiO₂ mit einem anderen Gas, z. B. mit SF₆, geätzt werden, d. h. einem Gas ohne Chloranteil, wobei dann die H-Schichten als Ätz-Stopp-Schichten wirken.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, insbesondere eines optischen Bauelementes, bestehend aus einem Trägersubstrat sowie einem Schichtsystem, mit mindestens einer an mindestens einem Bereich gegenüber mindestens einem zweiten Bereich in ihrer Dicke gestuften dielektrischen Schicht, **dadurch gekennzeichnet**, daß

— die dielektrische Schicht der Gattung MeO_x auf eine Unterlage aufgebracht wird, wobei Me ein Metall ist, dessen Masse mindestens 44 beträgt, x so gewählt wird, daß der Absorptionskoeffizient k_{λ} des Schichtmaterials bei Licht der Wellenlänge $\lambda = 308$ nm

$$k_{308} \leq 0,01$$

ist,

— die Schicht durch reaktives Ätzen mittels eines aktivierten Gases zur Bildung der Dickenstufung abgebaut wird.

2. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß $k_{308} \leq 0,003$ ist.

3. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß gilt:

Me = Ta und

x = 2,5,

und damit die Schicht aus Ta_2O_5 erstellt wird.

4. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß gilt:

Me = Hf und

x = 2,

und damit die Schicht aus HfO_2 erstellt wird.

5. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens die eine oder mehrere der Schichten als Teil eines Schichtstapels auf dem Substrat aufgebracht werden und der Stapel gestuft zur Bildung einer oder mehrerer Dickenabstufungen abgetragen wird.

6. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als zu aktivierendes Gas ein Gas mit $CHClF_2$ eingesetzt wird.

7. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das zu aktivierende Gas weiter He und/oder CHF_3 und/oder H_2 enthält.

8. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das zu aktivierende Gas eine Kombination von Cl_2 mit mindestens einem der weiteren Gase H_2 , F_2 , CF_4 , SF_6 umfaßt.

9. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht vor ihrem Abbau mit einer Schicht niedrigbrechenden Materials, insbesondere von SiO_2 , mindestens teilweise abgedeckt wird und die letztgenannte mit einem Gas, vorzugsweise im wesentlichen ohne Chloranteil, reaktiv geätzt wird, vorzugsweise durch ein Gas mit Fluoranteil, welches die MeO_x -Schicht nicht ätzt.

10. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß weitere Schichten vorgesehen werden und diese mit einem Gas, vorzugsweise im wesentlichen ohne Cl_2 -Anteil, geätzt werden, derart, daß die mindestens eine MeO_x -Schicht für diesen Ätzvorgang als Ätz-Stopp-Schicht wirkt.

11. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine zu aktivierende Gas homogen verteilt über den abzutragenden Oberflächenbereich gedüst wird, vorzugsweise im wesentlichen senkrecht hierzu, und die Reaktivgasdichte dort im wesentlichen homogen ist.

12. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktivierung des mindestens einen Gases mittels geladener Partikel, wie mittels Elektronen, insbesondere aber mittels Ionen, erfolgt.

13. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Ätzvorgang photonenerstützt wird, insbesondere laserunterstützt.

14. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktivierung des mindestens einen Gases in einer Glimmentladung erfolgt, welche vorzugsweise zwischen einer Bauelementträger-Elektrode und einer Gegenelektrode unterhalten wird, wobei das zu aktivierende Gas vorzugsweise im wesentlichen in Richtung der Entladung dem zu behandelnden Bauelement zugeführt wird.

15. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gaseinlaß für das mindestens eine zu aktivierende Gas gekühlt, vorzugsweise wassergekühlt, wird.

16. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine niedrigerbrechende Schicht, vorzugsweise aus SiO_2 , vorgesehen wird, welche so dotiert ist, daß das Erreichen dieser Schicht durch den Ätzprozeß, vorzugsweise durch Detektion einer Änderung der emittierten Lichtstrahlung, detektiert wird.

17. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierung mit Erdalkali-Ionen erfolgt.

18. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein Glas mit Erdalkali-Ionen eingesetzt wird und vorzugsweise eine Änderung der emittierten Lichtstrahlung detektiert wird, wenn der reaktive glimmentladungs-unterstützte Ätzprozeß die Glasoberfläche erreicht.

19. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Lichtstrahl mit einem Spektralbereich, in welchem das Bauele-

ment lichttransmittierend ist, von der nicht abgetragenen Seite des Bauelementes her auf letzteres gerichtet wird und aus Änderungen der Strahlreflexion auf die verbleibende Beschichtungsdicke des Substrates geschlossen wird.

20. Optisches Bauelement, aufgebaut aus einem Trägersubstrat und mindestens einer dielektrischen Schicht mit mindestens zwei in ihrer Dicke gestuften Bereichen, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht aus einem Material der Gattung MeO_x besteht und

- Me ein Metall mindestens der Masse 44 ist,
- x so gewählt ist, daß das Schichtmaterial für Licht der Wellenlänge $\lambda = 308 \text{ nm}$ einen Absorptionskoeffizienten k_λ

$$k_{308} \leq 0,01$$

aufweist und die Dickenstufung durch ein reaktives Ionenätzverfahren erstellt ist.

21. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß $k_{308} \leq 0,003$ ist.

22. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 20 oder 21, hergestellt nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19.

23. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einer Schicht gilt:

- Me = Ta,
- x = 2,5.

24. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einer der Schichten gilt:

- Me = Hf,
- x = 2.

25. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 20 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke am Bauelement in mindestens einem Bereich reduzierter Dicke nicht verschwindet.

26. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Schicht Teil eines auf dem Substrat aufgetragenen Schichtstapels ist, woran nebst der erwähnten Schicht mindestens eine Schicht niedrigerbrechenden Materials, vorzugsweise im wesentlichen aus SiO_2 oder Al_2O_3 , vorgesehen ist.

27. Optisches Abbildungssystem mit einer UV-, insbesondere einer Exzimer-Laserquelle, deren Strahl durch eine Maske läuft, zur Modulation des Laserstrahls, dadurch gekennzeichnet, daß die Maske ein nach einem der Ansprüche 20 bis 26 aufgebautes optisches Bauelement ist.

28. Optisches Abbildungssystem, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserquelle eine Strahlenergiedichte von über 100 mJ/cm^2 abgibt, vorzugsweise von über 200 mJ/cm^2 , dabei vorzugsweise gar von über 300 mJ/cm^2 .

29. Vakuumbehandlungsanlage zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 20 bis 26 bzw. mindestens zur Ausführung des Ätzschrittes am Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß sie umfaßt:

- einen Vakuumrezipienten, darin
- eine Substratträger-Elektrode,
- diesbezüglich eine Gegenelektrode,
- einen Wechselspannungsgenerator an Substratträger-Elektrode und Gegenelektrode,

wobei die Gegenelektrode eine Anordnung verteilter, im wesentlichen gegen die Werkstückträger-Elektrode gerichteter Gasauslaßöffnungen für ein Reaktivgas umfaßt.

30. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen an der Gegenelektrode regelmäßig flächig verteilt angeordnet sind.

31. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenelektrode gekühlt ist, vorzugsweise wassergekühlt ist.

32. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Anordnung zur Durchleitung eines Lichtstrahls, gewinkelt — dies rechtwinklig einschließend — durch die Werkstückträger-Elektrode vorgesehen ist und, an deren Trägerfläche für ein Werkstück, ausmündet, und daß weiter durch die Träger-Elektrode, einmündend an deren Trägerfläche, eine weitere Anordnung zur Durchleitung eines Lichtstrahls vorgesehen ist, wobei die eine der Anordnungen mit einer Lichtquelle verbunden ist, die andere mit einer Auswerteeinheit zur Auswertung des durch letzterwähnte Anordnung empfangenen Lichtstrahls.

33. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Anordnungen durch Lichtleiter gebildet ist.

34. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Anordnungen durch ein und denselben

Lichtleitkanal gebildet werden, welcher im wesentlichen senkrecht zur Werkstückträger-Oberfläche der Trägerelektrode durch letztere durchgeführt ist.

35. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 29 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung verteilter Auslaßöffnungen, vorzugsweise über Durchfluß-Stellglieder, mit einem Vorrat mit CHClF_2 kommuniziert, gegebenenfalls zusätzlich mit einem Vorrat für He und/oder CHF_3 und/oder H_2 .

36. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 29 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung verteilter Auslaßöffnungen einerseits mit einem Vorrat Cl_2 enthaltenden Gases sowie mit einem Vorrat eines anderen Gases verbunden ist und die Verbindung zu den Vorräten stellbar ist.

37. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß eine Detektoranordnung vorgesehen ist, die für unterschiedliche, dem Ätzprozeß ausgesetzte Oberflächen unterschiedliche Signale abgibt, und daß eine Auswerteeinheit für die Signale das Umschalten der Vorräte steuert.

38. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 32 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgang der Auswerteeinheit die Zusammensetzung des den Gasauslaßöffnungen zugeführten Gases steuert.

39. Vakuumbehandlungsanlage, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 29 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgang der Auswerteeinheit auf den Wechselspannungsgenerator und/oder auf Stellglieder für die Gaszuspeisung zu den Auslaßöffnungen wirkt.

40. Verfahren zur Verfolgung des Abtrages oder des Auftrages von Material an einem mindestens in einem gegebenen Spektralbereich transmittierenden Bauelement während des Abtrag- bzw. Auftragprozesses, dadurch gekennzeichnet, daß man von der unbehandelten Bauelementseite her mindestens einen Lichtstrahl im genannten Spektralbereich auf und durch das Bauelement leitet und aus Änderungen eines reflektierten Lichtstrahls auf die momentane Dicke des Bauelementes schließt.

41. Vakuumbehandlungsanlage zum Auftrag oder Abtrag von Material an der Oberfläche mindestens eines Werkstückes, welches in einem vorgegebenen Spektralbereich transmittierend ist, mit einem Werkstückträger, worauf das Werkstück mit einer nicht zu behandelnden Oberfläche aufliegt dadurch gekennzeichnet, daß durch den Träger mindestens eine Lichtkanalanordnung durchgeführt ist und an dessen Trägerfläche ausmündet, welche mit einer Lichtquelle, vorzugsweise einer Laserquelle, kommuniziert, und daß am Bauelementträger eine weitere Anordnung zur Durchleitung eines Lichtstrahls vorgesehen ist, welche mit einer Auswerteeinheit für die Auswertung des durch diese Anordnung empfangenen Lichtstrahls verbunden ist, wobei vorzugsweise die beiden Lichtdurchleit-Anordnungen durch ein und denselben Lichtleitkanal gebildet sind, der im wesentlichen senkrecht zur Trägerfläche durch den Träger durchgeführt ist.

42. Verfahren zur Feststellung des Erreichens einer vorgegebenen Oberfläche durch reaktives Ätzen mindestens einer darüberliegenden Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche mit Erdalkali-Ionen dotiert wird und ihr Erreichen durch den Ätzprozeß aufgrund des Auftretens von Licht eines gegebenen Spektralbereiches im Prozeßraum detektiert wird.

43. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche durch ein Substrat aus Glas mit Erdalkali-Ionen gebildet wird.

44. Verfahren zur Steuerung eines reaktiven Ätzprozesses eines Schichtstapels mit mindestens einer hochbrechenden und, darüber, einer niedrigbrechenden Schicht, erstere vorzugsweise einer MeO -Schicht der in Anspruch 1 spezifizierten Art, letztere vorzugsweise eine SiO_2 -Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß die letztere Schicht mit einem Gas, vorzugsweise ohne Cl_2 -Anteil, geätzt wird, Erreichen der Oberfläche der ersten Schicht detektiert wird und darnach gegebenenfalls ein anderes Gas, vorzugsweise mit Cl_2 -Anteil, verwendet wird.

45. Optisches Bauelement, bestehend aus einem durch reaktives Ionenätzen strukturierten Schichtsystem mit mindestens einer Lage, die mit Erdalkali-Ionen dotiert ist.

46. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage durch ein Substrat aus Glas mit Erdalkali-Ionen gebildet ist.

47. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1, 2, 5 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß

$$\begin{aligned} \text{Me} &= \text{Y und} \\ x &= 1,5 \end{aligned}$$

und damit die Schicht Y_2O_3 ist.

48. Optisches Bauelement, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 20 bis 22, 25, dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einer Schicht gilt:

$$\begin{aligned} \text{Me} &= \text{Y} \\ x &= 1,5. \end{aligned}$$

49. Verwendung einer Y_2O_3 -Schicht als Stopp-Schicht in einem reaktiven Ätzprozeß.

50. Verwendung nach Anspruch 49 für einen reaktiven Ätzprozeß mit CHClF_2 und vorzugsweise He.

51. Verfahren, vorzugsweise nach mindestens einem der Ansprüche, wie nach einem der Ansprüche 1 bis 19,

47, dadurch gekennzeichnet, daß für das Ätzen der MeO_x-Schicht ein fluorhaltiges Gas, vorzugsweise CHF₃ eingesetzt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

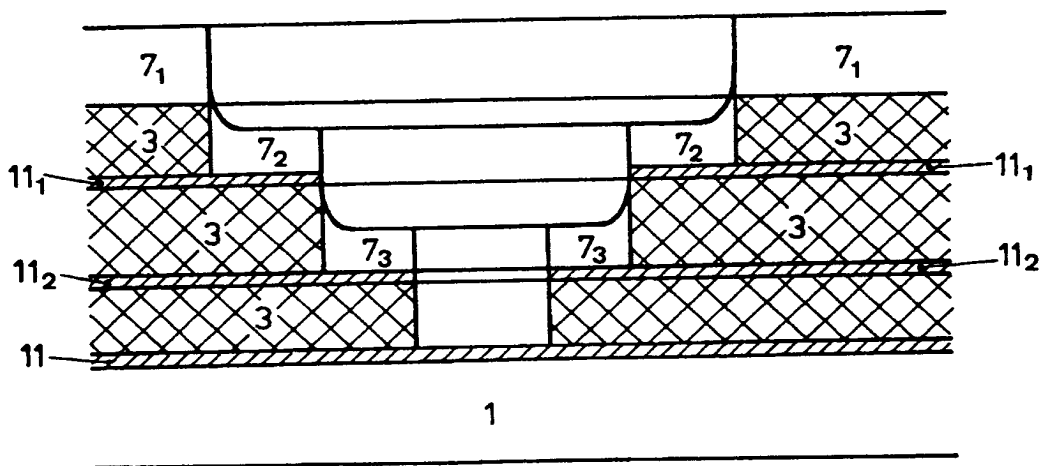
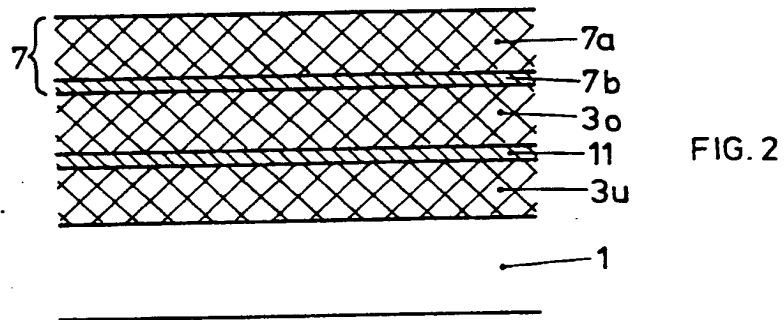
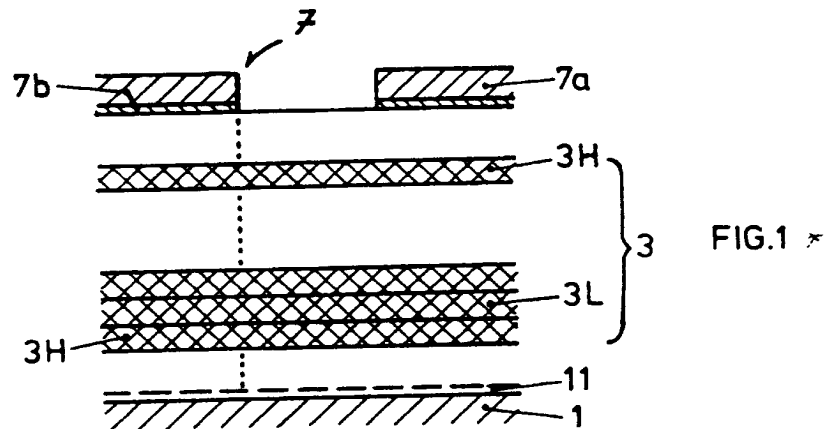
50

55

60

65

- Leerseite -



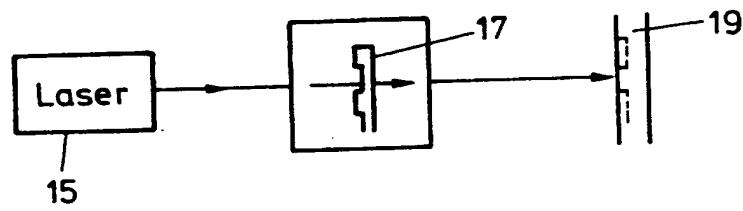


FIG. 4

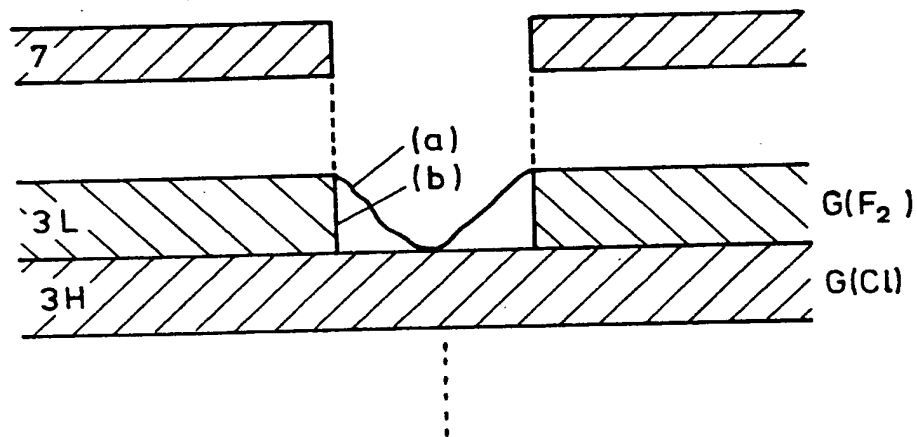


FIG. 5

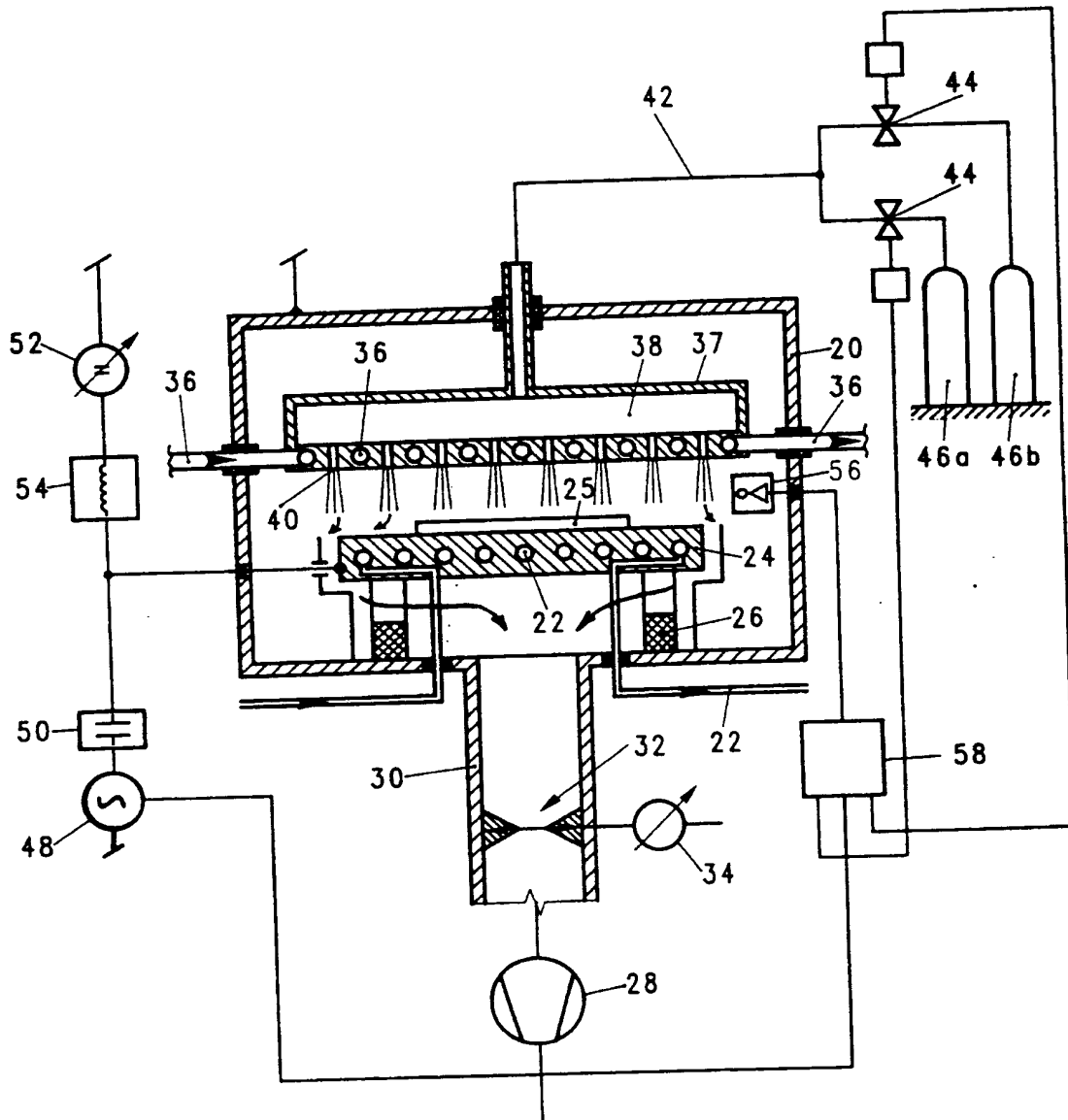


FIG. 6

